



FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y AMBIENTALES

Grado en Ciencias del Mar

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**“Cultivo de algas mediante sistema de cuerdas en la
bahía de Cádiz.”**

Estudiante: Claudia Leticia Cara Ortega

Tutores: Ignacio Hernández Carrero y Ricardo Bermejo Lacida

Puerto Real, 28/09/2015

D. Ignacio Hernández Carrero, Catedrático de Ecología de la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales de la Universidad de Cádiz y D. Ricardo Bermejo Lacida, Doctor en Ciencias del Mar por la Universidad de Cádiz.

HACEN CONSTAR,

Que la memoria recogida en el Trabajo de Fin de Grado, titulada: **Cultivo de algas mediante sistema de cuerdas en la bahía de Cádiz**, presentado por la alumna Claudia Leticia Cara Ortega, ha sido realizado bajo nuestra dirección.

Considerando que resume su trabajo de investigación y que reúne todos los requisitos legales, autorizamos su presentación y defensa para la obtención del Grado en Ciencias del Mar por la Universidad de Cádiz.

En Puerto Real, a 28 de septiembre de 2015.

Fdo: Ignacio Hernández Carrero

Fdo: Ricardo Bermejo Lacida

El presente trabajo de fin de grado se ha realizado gracias a la financiación del Proyecto de Excelencia titulado “Optimización de la recolección y el cultivo al aire libre de macroalgas destinadas a la industria alimentaria en esteros de la bahía de Cádiz: potencial nutricional/gastronómico e implicaciones ambientales” (EALGA; RMN-1235), financiado por la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo.



Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a la Demarcación de Costas Andalucía-Atlántico por la concesión de una zona de la bahía de Cádiz en la cual, se ha podido llevar a cabo este trabajo.

Gracias a mis tutores, Ignacio Hernández y Ricardo Bermejo por su paciencia conmigo, por el tiempo que han dedicado a corregirme este trabajo y por todo lo que he aprendido de profesionales como vosotros. A todo el departamento de Ecología en general, y en especial a Bea, por su ayuda desinteresada en todo momento.

A Ricardo y a Manu una mención honor, porque juntos hemos vivido días de muestreos interminables que al final, convertíais siempre en situaciones inolvidables. No hubiera imaginado pasar un año con mejor compañía que con vosotros.

A mis amigos, y en particular a Pedro, que me ha apoyado y sufrido desde el inicio. Y por último, y no menos importante, a mis padres y hermanas, porque gracias a ellos soy lo que soy y sin cuyo esfuerzo, nada de esto hubiera sido posible.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivos.....	4
2. MATERIAL Y MÉTODOS	5
2.1. Zona de estudio.....	5
2.2. Descripción de especies cultivadas.....	6
<i>Gracilariopsis longissima</i>	6
<i>Gracilaria bursa-pastoris</i>	7
<i>Chondracanthus teedei</i>	7
2.3. Control de variables físico-químicas.	8
2.4. Estimación de las tasas de crecimiento de <i>G. longissima</i> , <i>G. bursa-pastoris</i> y <i>C. teedei</i>	9
2.5. Análisis estadístico.	11
3. RESULTADOS	12
3.1. Variables medioambientales.....	12
3.2. La influencia de la estacionalidad y la duración del cultivo en el crecimiento y en la abundancia de epífitos.	13
3.2.1. <i>Gracilariopsis longissima</i>	13
3.2.2. <i>Gracilaria bursa-pastoris</i>	15
3.2.3. <i>Chondracanthus teedei</i>	17
3.3. Análisis de carbono y nitrógeno interno	19
4. DISCUSIÓN	21
5. CONCLUSIONES.....	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27

RESUMEN

Las macroalgas son un recurso económico importante y un elemento clave del ecosistema. En los últimos años, se ha producido una sobreexplotación del recurso por incremento de la demanda de la industria alimentaria y de los ficocoloides. Esto ha favorecido los cultivos con una doble finalidad: la explotación sostenible y el freno al impacto de su explotación en el ecosistema. En este contexto, el objetivo de este trabajo de fin de grado fue estudiar la viabilidad del cultivo de macroalgas en la bahía de Cádiz. Para ello se utilizaron tres especies de algas rojas: *Gracilaria bursa-pastoris*, *Gracilariopsis longissima* y *Chondracanthus teedei*. Las especies se cultivaron durante un año mediante un sistema de balsas. Las mayores tasas de crecimiento se obtuvieron para *G. longissima* en otoño (6,6%), *C. teedei* en invierno (2,7%), y para *G. bursa-pastoris* en primavera (3,67%). Los resultados del análisis del contenido interno de nitrógeno sugieren que durante el invierno las macroalgas estuvieron por encima de la cuota crítica de N que permitía el máximo crecimiento. Los resultados obtenidos sugieren que el cultivo de macroalgas en la bahía de Cádiz es viable. Sin embargo, las tasas de crecimiento obtenidas fueron en términos generales inferiores a las obtenidas en otras áreas geográficas. El desarrollo de esta actividad podría suponer un importante complemento económico para la actividad pesquera y marisquera tradicional de la bahía de Cádiz.

ABSTRACT

Macroalgae are a remarkable economic resource and a key element of the ecosystem. In the last few years, macroalgae have been overexploited partly because of the high demand from the food and chemical industries. This has been triggered sustainable macroalgae outdoor cultures to mitigate environmental impacts. The aim of the present end-of-degree project was to study the possibility of macroalgae cultures in the bay of Cádiz. To do so, three species of red algae were selected: *Gracilaria bursa-pastoris*, *Gracilariopsis longissima* and *Chondracanthus teedei*. The species were cultivated in semi-floating rafts with crossed ropes during one year period. *Gracilariopsis longissima* achieved the highest daily growth rates in autumn (6,6%), *C. teedei* in winter (2,7%) and *G. bursa-pastoris* in spring (3,67%). The values of the tissue N quotas suggested that macroalgae were always growing at maximum rates. The results pointed out the possibilities of macroalgal culture in the bay even when growth rates were, overall, lower than those found in other geographical areas. The development of this activity may be in a near future a new profitable activity added to the traditional fish and shellfish industries in Cadiz bay.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el año 600 a.c. se ha documentado el consumo de algas por parte del ser humano (Aguilera-Morales *et al.*, 2005), normalmente, en zonas donde el acceso a otros recursos era complicado. Según Zemke-White y Ohno (1999), en el mundo se utilizan 221 especies de macroalgas, de éstas 145 son destinadas para el consumo humano sin procesar (28 clorofíceas, 38 feofíceas y 79 rodofíceas) y 101 son utilizadas como materia prima para la obtención de polisacáridos como alginatos, agar y carragenatos. Las macroalgas se utilizan también como fertilizantes y fuente de principios activos para la industria cosmética y farmacéutica (Chapman *et al.*, 1980). Además, la capacidad de las macroalgas para incorporar nutrientes se ha utilizado para remediar el impacto de los efluentes provenientes de la acuicultura intensiva. Así, en la bahía de Cádiz se han llevado a cabo estudios previos con la especie *Gracilariopsis longissima* y *Ulva rotundata*. Estos estudios demostraron que estas especies disminuían la carga de nutrientes del efluente y mejoraban la calidad del agua (Martínez-Aragón *et al.*, 2002; Pérez-Pastor, 2005; Hernández *et al.*, 2006).

A pesar de la importancia que han tenido las algas en la dieta de los países orientales desde tiempos inmemoriales, el consumo directo como alimento por parte del hombre ha sido raro y anecdótico en Occidente. No obstante, en los últimos años debido a un cambio en la mentalidad impulsado por una mayor preocupación por una alimentación saludable y una mayor concienciación ambiental, se está produciendo un aumento en el consumo de éstas en los países occidentales (Mouritsen *et al.*, 2013). En este sentido, las macroalgas se consideran junto con el marisco una importante fuente de ácidos grasos omega-3 (Israel *et al.*, 2010), además de contener determinados metabolitos con capacidad antioxidante e inmunológica que podrían tener un impacto positivo sobre la salud (Pulz y Gross, 2004).

Los principales países consumidores de algas son China, Japón y Corea aunque, en los últimos años, Chile, Brasil, Alemania o España entre otros, han aumentado su explotación y consumo. En la actualidad, se producen en todo el mundo más de 25.000.000 de toneladas de algas, de las que sólo Asia aporta el 81,4% del total (FAO, 2014).

En aquellos países donde la explotación de macroalgas es una importante actividad económica, la recolección intensiva y descontrolada de macroalgas para la obtención de ficocoloides ha provocado un importante problema ambiental relacionado con la sobreexplotación de las poblaciones naturales. Por ello, ha surgido durante las últimas décadas la necesidad de cultivar las especies con interés económico para poder satisfacer la creciente demanda mundial, asegurando así la sostenibilidad del recurso y minimizando el impacto sobre

el ecosistema marino (Hanisak, 1998; FAO, 2000; Oliveira *et al.*, 2000; Mantri *et al.*, 2009). En este sentido, cabe destacar el importante papel que tienen las macroalgas como punto de partida de cadenas y redes tróficas, o actuando como especies formadoras de hábitats (p.e. en Voerman *et al.*, 2013). Por otra parte, muchos macrófitos ejercen un papel de protección de las costas minimizando los procesos erosivos (Peralta *et al.*, 2008) y participan como descontaminantes de las aguas al incorporar los nitratos y fosfatos del medio necesarios para su crecimiento (Pérez-Pastor, 2005; Hernández *et al.*, 2006).

La zona de la bahía de Cádiz concentra alrededor del 70% de la población total de la provincia, con unos 263.000 habitantes empadronados (IECA, 2008). Las principales actividades económicas tradicionales de la zona se basan en el marisqueo y la pesca. En los últimos años, la actividad marisquera ha sufrido un importante aumento, asociado por una parte a la creciente situación de desempleo y por otra, al aumento demográfico en la Bahía. Las condiciones de la zona en cuanto a la abundancia y diversidad de especies, así como la existencia de infraestructuras como embarcaderos y puertos de la zona que facilitan el acceso al mar, han favorecido el desarrollo de la actividad pesquera tradicional (PORN, 2004). El cultivo de algas, podría ser por tanto un complemento a la pesca y el marisqueo, suministrando una nueva fuente de ingresos a los habitantes de la zona.

En la bahía de Cádiz crecen de forma natural especies de macroalgas con un importante potencial económico que son utilizadas en otras regiones tanto para consumo humano directo (p.e. *Ulva rigida*, *Codium tomentosum*, *Codium fragile*, *Chondracanthus teedei*, entre otras), como para la obtención de ficocoloides (p.e. *Chondracanthus teedei*, *Gracilariopsis longissima*, *Gracilaria bursa-pastoris* o *Hypnea musciformis*) (Iyer *et al.*, 2005). En este contexto, el presente estudio se centrará en el cultivo de las especies *Gracilariopsis longissima*, *Gracilaria bursa-pastoris* y *Chondracanthus teedei* en la bahía de Cádiz.

1.1. Objetivos

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la influencia de los factores “duración del cultivo” y “estacionalidad” en el rendimiento del cultivo en cuerdas de las algas rojas *G. longissima*, *G. bursa-pastoris* y *C. teedei* en el saco interno de la bahía de Cádiz. Esta es una información básica para desarrollar nuevos ensayos y optimizar las condiciones de su cultivo, además de permitir la identificación de aquellas especies con un mayor potencial económico.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

La bahía de Cádiz se sitúa en la costa suroeste de la Península Ibérica (Fig. 1). Se encuentra protegida bajo la figura de Parque Natural (Ley Autonómica 2/89) y desde este año se considera como Zona de Especial Conservación (ZEC, tal como recoge el Decreto 369/2015, de 4 de agosto, del BOJA) formando parte de la red Natura 2000. Atendiendo a su geomorfología la bahía se divide en tres zonas: i) saco externo, con una profundidad media de unos 15 m y con sustratos predominantes arenosos; ii) saco interno, formado por una laguna mareal de 5 km de diámetro con una profundidad media de 3 m; y iii) zona de marismas conformadas por una red de caños intermareales de escasa profundidad, antiguamente adaptados para la explotación salinera, y que hoy en día, en su gran mayoría, se encuentran en desuso.



Figura 1. Lugar de localización de Santibáñez, zona donde se realizó el estudio. Imagen extraída de Google Maps e imagen propia (inferior derecha).

Los experimentos de cultivo en campo se llevaron a cabo en el saco interno de la bahía, en la zona de Santibáñez ($36^{\circ}28' 05''$ N $6^{\circ}15'09''$ W). El sustrato en la zona submareal es arenoso-fangoso con zonas de cascajo. Las comunidades fitobentónicas están dominadas por angiospermas marinas (*Cymodocea nodosa* en el submareal; y *Zostera noltei* en el intermareal), rodolitos calcáreos (*Neogoniolithon brassica-florida*; en zonas de cascajo) y el alga verde enraizante *Caulerpa prolifera* (Hernández *et al.*, 2010; Vergara *et al.*, 2012).

Esta zona se encuentra protegida del oleaje y sometida a un régimen mareal semidiurno con dos bajamares y pleamares diarias, siendo la amplitud mareal máxima de 1,6 metros (<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/>). La temperatura media del aire es de 20 °C y del agua 11°C en invierno y 24 °C en verano, según la información disponible en la web de la Agencia Estatal de Meteorología (<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/espana>). La precipitación media en invierno es de 150 mm y en verano de unos 5 mm (año 2014). Por último, los vientos predominantes soplan en las direcciones ESE (levante, más seco y caluroso) y ONO (poniente, más frío y húmedo).

2.2. Descripción de especies cultivadas.

Gracilariopsis longissima (Stackhouse), Irvine, Steentoft y Farnham (1995).

El alga roja *G. longissima* (Fig. 2) es una agarófita perteneciente al orden de las Gracilariales. Se encuentra principalmente distribuida por el noreste del Atlántico desde las Islas Británicas hasta Sudáfrica (Guiry y Guiry, 2015). Esta especie presenta una morfología muy similar a *Gracilaria gracilis*, de hecho ambas especies se consideraron durante mucho tiempo una sola especie. En este sentido, la correcta identificación de estas especies requiere un estudio minucioso al microscopio de secciones transversales de las estructuras reproductoras (Steentoft *et al.*, 1995). Ambas especies se encuentran presentes de manera natural en la bahía de Cádiz, siendo *Gracilariopsis* la más abundante. El talo de *Gracilariopsis* suele ser poco ramificado y llega a medir más de un metro de longitud, presentando un diámetro de 1 a 3 mm (Cabioc'h *et al.*, 2006). En la zona de la bahía es frecuente encontrarla en zonas umbrías de fuerte hidrodinámica, llegando a alcanzar grandes densidades en las compuertas de algunos esteros y salinas (Hernández *et al.*, 2010).



Figura 2. Imagen de las especies *G. longissima* (Imagen propia).

Su notable contenido en agar (Orduñas-Rojas *et al.*, 2008; Stabili *et al.*, 2012) y su alta capacidad para asimilar nutrientes y metales pesados, hace de esta macroalga una especie de gran interés tanto para industria de los hidrocoloides (Radmer, 1996) como para biodepuración (Hernández *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2006). Por otra parte, en los últimos tiempos se ha convertido en un ingrediente muy utilizado en la alta cocina a nivel local.

***Gracilaria bursa-pastoris* (S.G.Gmelin) P.C. Silva (1952)**

El alga roja *G. bursa-pastoris* (Fig. 3) es una agarófita perteneciente al orden Gracilariales. Se distribuye por el noreste del océano Atlántico, desde las Islas Británicas hasta Cabo Verde así como por el Mediterráneo (Guiry y Guiry, 2015). Ésta especie se reconoce por sus ramas gruesas ligeramente comprimidas más turgentes, cartilaginosas y quebradizas (Cabioc'h *et al.*, 2006). Posee un agar de alta calidad que depende de la etapa reproductiva y de la estación del año (Whyte *et al.*, 1981; Marinho-Soriano *et al.*, 1999). En la bahía de Cádiz, suele encontrarse flotando o en pequeños rodales entremezclados con *Caulerpa prolifera* y *Cymodocea nodosa*. Aunque esta especie se utiliza principalmente para la obtención de agar, también presenta usos culinarios.



Figura 3. Imagen de la especie *G. bursa-pastoris* (Imagen propia).

***Chondracanthus teedei* (Mertens ex Roth) Kützinger (1843)**

El alga roja *C. teedei* (Fig. 4) pertenece al orden Gigartinales. Se distribuye desde las Islas Británicas hasta Sudáfrica, incluido el mar Mediterráneo y Japón (Guiry y Guiry, 2015). El talo de *C. teedei* puede llegar a medir unos 30 cm de longitud y se fija gracias a un disco basal del que pueden salir 1 ó 2 ejes de 3 a 5 mm de ancho. Posee una textura cartilaginosa, con ramas aplanadas en la mayor parte del talo y cilíndricas en la base. Presenta un color que va desde el rojo oscuro hasta el amarillo o verde en función de su estado fisiológico y su exposición a la

radiación solar (Menéndez-Valderrey, 2004). En la bahía de Cádiz se distribuye principalmente en zonas de alta hidrodinámica, como compuertas de esteros o salidas de agua, a profundidades menores de 3 m. Esta especie posee un gran interés en la industria de los ficocoloides como materia prima para la obtención de carragenatos (Bastos, 2013). Además, *C. teedei* ha sido utilizado en Sicilia para la elaboración de platos tradicionales, al igual que en Asia, donde se comercializa bajo el nombre de *shinkin-nori* junto a otras especies morfológicamente muy similares como *C. chamisoii*.



Figura 4. Imagen de la especie *C. teedei* (Imagen propia).

2.3. Control de variables físico-químicas.

El seguimiento de las variables físico-químicas se realizó semanalmente, desde octubre de 2014 hasta junio de 2015, utilizando los instrumentos indicados en la Tabla 1. En cada visita al lugar de cultivo, se tomó agua para su posterior filtrado y determinación de sólidos en suspensión utilizando una bomba de vacío y filtros Whatman con un tamaño de poro de 0,7 μm . Estos filtros fueron pesados en dos ocasiones, antes y después del filtrado de un volumen conocido de agua (normalmente 0,6 litros). En ambos casos estos filtros permanecieron en estufa durante al menos 24 h. Finalmente, restando el peso inicial del filtro al final y partiéndolo por el volumen de agua filtrado, se obtuvo la concentración de sólidos en suspensión.

Por otra parte, se obtuvieron datos de oleaje de la página web de Puertos del Estado (www.puertos.es) y de precipitación acumulada y velocidad máxima del viento de la página web de la Agencia Estatal de Meteorología (www.AEMET.es).

Tabla 1. Diferentes variables F-Q medidas, sus unidades e instrumental utilizado.

Variables F-Q	Unidades	Instrumental
<i>Temperatura</i>	°C	Sonda multiparamétrica sensION (MM156) (HACH)
<i>pH</i>	Unidades de pH	
<i>Oxígeno Disuelto</i>	mg/L - %	
<i>Salinidad</i>	‰	Refractómetro (ATAGO)
<i>Sólidos en suspensión</i>	mg/L	Bomba de filtración
		(V=0,6 L de agua de mar) y estufa (60°C)

2.4. Estimación de las tasas de crecimiento de *G. longissima*, *G. bursa-pastoris* y *C. teedei*.

Para estimar la variabilidad temporal en el crecimiento, las distintas especies (*G. longissima*, *G. bursa-pastoris* y *C. teedei*) se cultivaron en cuerdas, en ciclos de tres, seis y nueve semanas desde octubre de 2014 hasta junio de 2015.

Las macroalgas utilizadas para el ensayo experimental se recolectaron en zonas próximas, dentro de la propia bahía de Cádiz. *Gs. longissima* se recolectó en Camposoto (San Fernando) o en la Salina de la Esperanza (Puerto Real), *G. bursa-pastoris* en la misma Santibañez y *C. teedei* de un estero en San Fernando.

El método de cultivo se llevó a cabo mediante la construcción de un sistema de balsas flotantes de 2,2 metros de largo por 1,3 metros de ancho, a las cuales, mediante una disposición de forma paralela de grilletes separados cada 18 cm, se le acoplaron después las cuerdas donde se situaron los individuos a medir (Fig. 5 a). Las cuerdas utilizadas se componían de 3 filamentos de perlón trenzado (nylon) con un grosor de 1 cm. La disposición de las balsas en el medio (Fig. 5 b), se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de Anderson *et al.* (1999). Para ello se fijaron al sustrato con 4 pesos muertos por balsa, de 8 kg cada uno, y en superficie gracias a cuatro boyas atadas a las esquinas, quedándose las cuerdas con la balsa situadas a una altura de 50 cm del fondo durante la pleamar. Estas balsas se situaron en la zona intermareal más lejana, la cual solo queda descubierta una o dos veces al año durante las mareas vivas de mayor coeficiente.

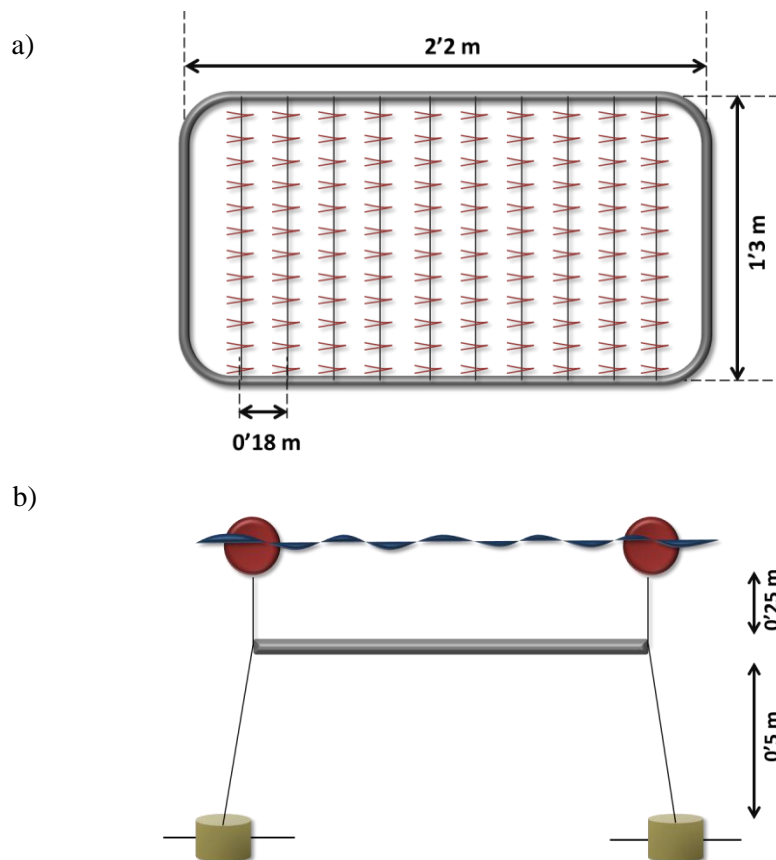


Figura 5. Esquema representativo de la vista cenital de una balsa (a) y perfil de una balsa en una situación de marea intermedia (b).

Previamente a la ubicación de las algas en la cuerda trenzada, los individuos se secaron con papel absorbente para eliminar el exceso de agua y se pesó el conjunto de individuos que irían en cada cuerda para obtener el peso total inicial. Además se midió la longitud inicial de cada individuo. Para *C. teedei*, *G. longissima* y *G. bursa-pastoris* se tomó una longitud inicial entre 8-12 cm, 12-16 cm y 8-12 cm, respectivamente. Finalmente, se procedió a ensartar 18 individuos por cuerda con una separación de 5 cm entre ellos. Para las 3 especies se realizó el mismo procedimiento, utilizando un total de 9 cuerdas por cada especie, al inicio de cada ensayo estacional (otoño, invierno, primavera y verano).

El transporte de las muestras al campo se realizó en una nevera, con las cuerdas envueltas en papel húmedo y dentro de bolsas zip para evitar su desecación y reducir el estrés.

Una vez colocadas las cuerdas en las balsas, cada 3 semanas aproximadamente, se recolectaron 3 cuerdas por especie para cuantificar el porcentaje de crecimiento diario

(%DGR). Dicha tasa se calculó asumiendo un crecimiento exponencial de la biomasa (ecuación 1).

$$\%DGR = Ln\left(\frac{\left(\frac{Wf}{W0}\right)}{t}\right) * 100$$

Ecuación 1. %DGR, porcentaje de crecimiento diario. (Wf: peso fresco final, W0: peso fresco inicial, t: tiempo en días.)

De las muestras recogidas se seleccionó una pequeña cantidad para la determinación del contenido en carbono y nitrógeno total de los talos. Para ello las muestras se secaron durante al menos 24 horas a 60 °C, se molturaron y se introdujeron en viales eppendorf. La determinación del contenido en C y N se realizó por el Servicio de Apoyo a la Investigación (La Coruña) mediante combustión en un analizador elemental EA1108 (Carlo Erba Instruments).

2.5. Análisis estadístico.

La realización del análisis estadístico se llevó a cabo con el programa informático de software libre R. En términos generales, el nivel de confianza asumido para la aceptación de la hipótesis nula fue mayor del 0,05 de probabilidad.

Las diferencias en las abundancias de epífitos y la tasa de crecimiento de *G. longissima*, *G. bursa-pastoris* y *C. teedei*, a lo largo de las diferentes estaciones del año y según el periodo de cultivo (3, 6 o 9 semanas) se probaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) de dos factores. Antes del análisis estadístico se analizaron los datos para ver si cumplían los criterios de aleatoriedad, normalidad y homocedasticidad. En el caso de *Gracilariopsis longissima*, algunos de los tratamientos no cumplieron los criterios de normalidad. No obstante, al ser los datos homocedásticos y al considerarse el test ANOVA como bastante robusto para la hipótesis de la normalidad, se disminuyó el nivel de significación de 0,05 a 0,01 en el caso de *G. longissima*. Finalmente, cuando fue necesario se utilizó el test de Tukey para identificar las diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

3. RESULTADOS

3.1. Variables medioambientales

Los datos recogidos de los parámetros medioambientales durante el periodo de estudio se muestran en la Tabla 2. Los resultados del ANOVA (ANEXO, TS1) mostraron que todos los parámetros, excepto el oxígeno disuelto y los sólidos en suspensión, presentaron diferencias significativas entre las diferentes estaciones del año. La temperatura del agua, varió entre los 9,5 °C y los 24 °C, alcanzándose las temperaturas máximas durante el verano (junio-agosto) y las mínimas durante el invierno (diciembre-febrero). El pH presentó un valor máximo de 8,8 en verano y un mínimo de 7,8 en invierno. La salinidad por su parte fue máxima en invierno (41PSU) y mínima en otoño (33PSU). En cuanto a la precipitación acumulada, ésta mostró un máximo de 241,8 mm en el mes de noviembre, y fue mínima durante los meses de verano (junio-agosto). En el caso del oleaje y el viento, la ola de mayor altura se registró en el mes de noviembre, con un valor de 3,2 m, y los vientos más intensos se registraron en los meses de diciembre y enero con rachas de hasta 70,2 km/h.

Tabla 2. Variables medioambientales recogidos durante el periodo de estudio. SS – Sólidos en suspensión, SD – Desviación estándar.

	Otoño		Invierno		Primavera		Verano	
	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD	Rango	Media \pm SD
<i>Temp. (°C)</i>	11,2-21,4	16,34 \pm 3,96	9,5-17,5	13,11 \pm 2,18	11,1-24	17,69 \pm 4,11	10,2-28,4	24,09 \pm 2,48
<i>pH (‰)</i>	7,85-8,73	8,27 \pm 0,28	7,83-8,53	8,12 \pm 0,22	7,83-8,8	8,28 \pm 0,37	8,24-8,8	8,54 \pm 0,19
<i>Salinidad (PSU)</i>	34-40	36,28 \pm 2,14	34-41	38,79 \pm 2,01	33-41	38,71 \pm 2,2	33-41	36,91 \pm 2,59
<i>O₂ (mg/L)</i>	8,28-9,55	8,87 \pm 0,57	7,13-12,8	9,23 \pm 1,57	6,97-12,8	9,63 \pm 1,75	5,3-12,01	8,93 \pm 1,92
<i>SS (gr/L)</i>	0,01-0,23	0,09 \pm 0,07	0,03-0,25	0,09 \pm 0,07	0,03-0,25	0,07 \pm 0,06	0,04-0,09	0,03 \pm 0,02
<i>Precipitación (mm)</i>	41,8-241,8	117,37 \pm 109	41,5-131,5	83,05 \pm 38	0-131,5	48,13 \pm 72,5	0-17,8	5,93 \pm 10,3
<i>Altura máx. (Hs)</i>	1,7-3,2	2,47 \pm 0,75	1,2-3,1	2,12 \pm 0,84	0,7-1,7	1,2 \pm 0,5	0,7-0,9	0,8 \pm 0,1
<i>Veloc. Viento (km/h)</i>	46,44-70,2	57,24 \pm 12,03	39,96-56,5	49,95 \pm 7,58	30,6-52,6	41,04 \pm 11,0	27,36-39,2	32,4 \pm 6,14

3.2. La influencia de la estacionalidad y la duración del cultivo en el crecimiento y en la abundancia de epífitos.

3.2.1. *Gracilariopsis longissima*

Los resultados del ANOVA (Tabla 3) mostraron que tan solo la duración del cultivo mostró un efecto significativo en el crecimiento de *G. longissima*, no observándose diferencias significativas para la estacionalidad y la interacción entre los dos factores evaluados.

En muchas de las cuerdas se observó al final del periodo de cultivo la presencia de animales sésiles (hidrozoos, ascidias), algas pleustófitas como *Ulva* spp, algas adheridas al perlón trenzado (*Laurencia* sp.) o fragmentos de fanerógamas marinas (*Zostera noltii* y *Cymodocea nodosa*). En el caso de *G. longissima*, la cantidad de estos epífitos no mostró diferencias significativas entre las diferentes estaciones o periodos de cultivo (tabla 3), no siguiendo ningún tipo de patrón reconocible con respecto a los factores considerados.

Tabla 3. Resultados del ANOVA bifactorial para evaluar la influencia de la estacionalidad (Es) y la duración del cultivo (DC) en el crecimiento y cantidad de epífitos para la especie *G. longissima* df - Grados de libertad, SS - Suma de cuadrados. *p-valor < 0,05, ** p-valor < 0,01, ***p-valor < 0,001

<i>G. longissima</i>						
%DGR				Epífitos		
Factor	df	SS	F-valor	df	SS	F-valor
DC	2	66,939	16,2937***	2	645,8	0,2709
Es	2	17,254	4,1997*	3	1082,6	0,2287
DC:Es	4	20,767	2,5274	6	2888,7	0,0940
Residual	18	36,975		27	6356,9	

En la especie *G. longissima* se observó que el crecimiento máximo siempre se alcanza a las tres semanas (máximo de 6,26%), disminuyendo a medida que aumenta el tiempo de cultivo (máximo a las 6 semanas de 3,72%; máximo a las 9 semanas de 2,71%). Esta disminución a medida que transcurre el tiempo de cultivo fue más acentuada durante el otoño y la primavera que durante el invierno. En este sentido, fue durante el otoño cuando los valores mostraron una mayor dispersión (Fig. 6), llegando a mostrar valores de crecimiento negativo (pérdida de biomasa) durante las 6 y 9 semanas. Los datos de supervivencia para las diferentes estaciones del año reflejaron que la supervivencia de *G. longissima* disminuyó a partir de la semana 3 de cultivo, sobre todo en los meses de otoño y verano, momento en que se registraron las mayores temperaturas en el agua (Fig. 7). El análisis *a posteriori* de comparación por pares mostró que

no existían diferencias claras en el crecimiento entre las diferentes estaciones del año, pero sí que existieron diferencias significativas en el crecimiento entre las diferentes semanas, especialmente durante el otoño.

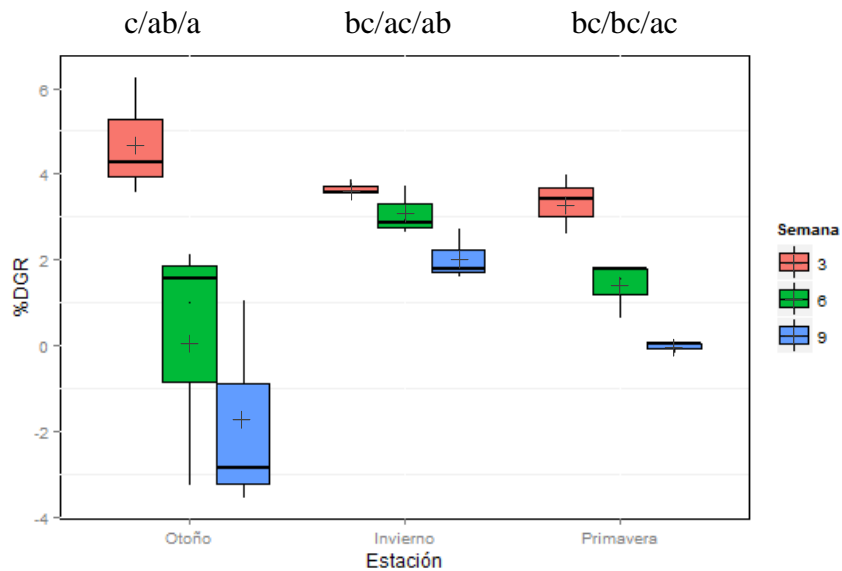


Figura 6. Diagrama de cajas que relaciona la estacionalidad y duración del periodo de cultivo de *G. longissima*. El diagrama de cajas indica la mediana (línea cercana al centro), el primer y tercer cuartil (la caja), los valores extremos de la caja que vienen determinados por 1,5 veces el rango intercuartílico y la media (cruz). (Los diferentes caracteres en minúsculas indican diferencias significativas del análisis *a posteriori*).

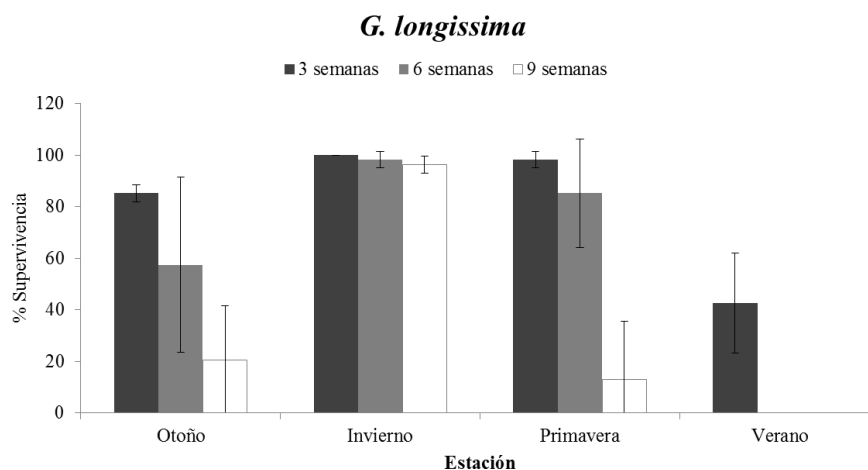


Figura 7. Supervivencia de la especie *G. longissima* por estaciones y duración de cultivo.

En la figura 8 se muestra la distribución de frecuencias de longitudes de la especie *G. longissima* para todo el año. Los individuos iniciales tuvieron una longitud inicial comprendida entre los 12 y los 14 cm. El mayor porcentaje de longitud para los individuos finales se

correspondió con los 16 y 22 cm. Sin embargo, también puede observarse una gran proporción de individuos menores a los iniciales, lo que indica la fractura o muerte del individuo.

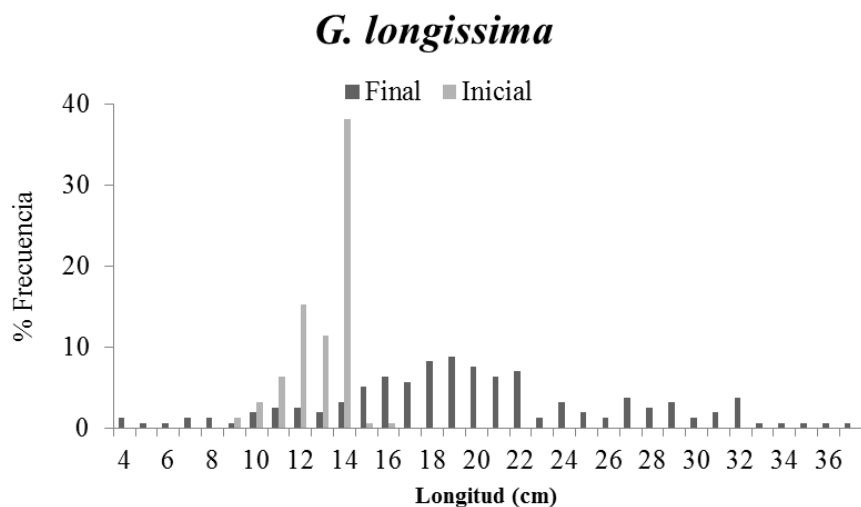


Figura 8. Distribución de la frecuencia de longitudes finales e iniciales de *Gs. longissima*.

3.2.2. *Gracilaria bursa-pastoris*.

Los resultados del ANOVA (Tabla 4) mostraron una influencia significativa de la estacionalidad y la interacción entre la estacionalidad y la duración del cultivo en el crecimiento de *G. bursa-pastoris*. Así mismo, la prueba estadística reveló que la cantidad de epífitos encontrados en las cuerdas de *G. bursa-pastoris* no mostraron diferencias según la duración del cultivo o la estacionalidad.

Tabla 4. Resultados del ANOVA bifactorial para evaluar la influencia de la estacionalidad (Es) y la duración del cultivo (DC) en el crecimiento y cantidad de epífitos para la especie *G. bursa-pastoris*. df - Grados de libertad, SS - Suma de cuadrados. *p-valor < 0,05, ** p-valor < 0,01, ***p-valor < 0,001

<i>G. bursa-pastoris</i>						
%DGR				Epífitos		
Factor	df	SS	F-valor	df	SS	F-valor
DC	2	0,2951	1,6085	2	3828,8	2,1456
Es	3	14,7909	53,7428***	3	1559,4	0,5826
DC:Es	6	11,2651	20,4659***	5	3273,1	0,7337
Residual	24	2,2017		22	19628,9	

La figura 9 muestra que para esta especie se observaron las mayores tasas de crecimiento durante el otoño (3,68%) y la primavera (3,33%), y las mínimas durante el invierno (0,61%) y

el verano (1,11%). El análisis *a posteriori* de comparación por pares mostró que no existieron diferencias en el crecimiento máximo de primavera (semana 6) y otoño (semana 3). Por otra parte, los mínimos de verano (semana 3) e invierno (semana 3) tampoco fueron diferentes entre ellos.

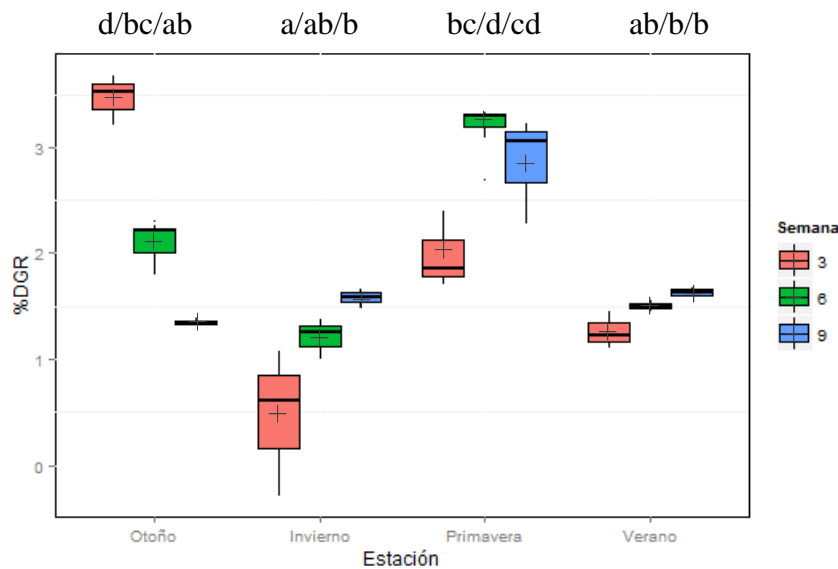


Figura 9. Diagrama de cajas que relaciona la estacionalidad y duración del periodo de cultivo de *G. bursa-pastoris*. El diagrama de cajas indica la mediana (línea cercana al centro), el primer y tercer cuartil (la caja), los valores extremos de la caja que vienen determinados por 1,5 veces el rango intercuartílico y la media (cruz). (Los diferentes caracteres en minúsculas indican diferencias significativas del análisis *a posteriori*).

La especie *G. bursa-pastoris* fue la que registró las mayores tasas de supervivencia de las tres especies estudiadas. Además, apenas presentó pérdidas de individuos (Fig. 10) o fracturas (Fig. 11) durante las diferentes estaciones del año. En este sentido, en la figura 11 se puede observar que *Gracilaria bursa-pastoris*, especie de crecimiento arbustivo, mantuvo relativamente invariable la longitud de los individuos tras el periodo de cultivo, sin que tampoco se observara un número significativo de fracturas en los individuos.

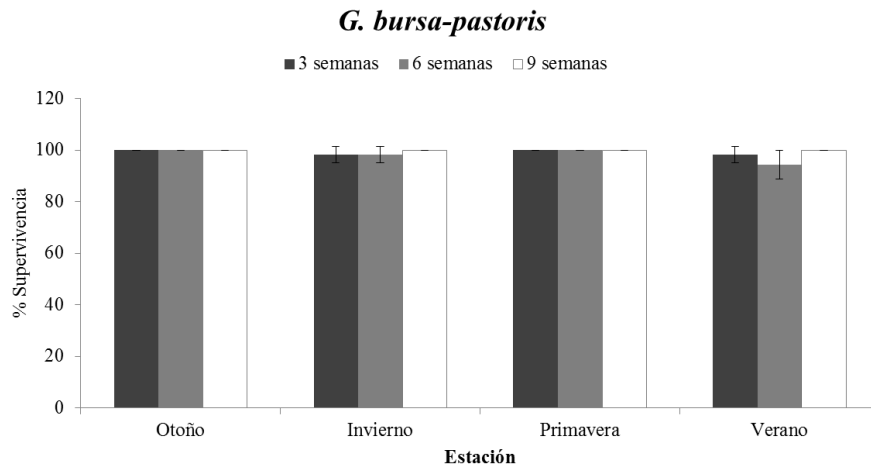


Figura 10. Supervivencia de la especie *G. bursa-pastoris* por estaciones y duración de cultivo.

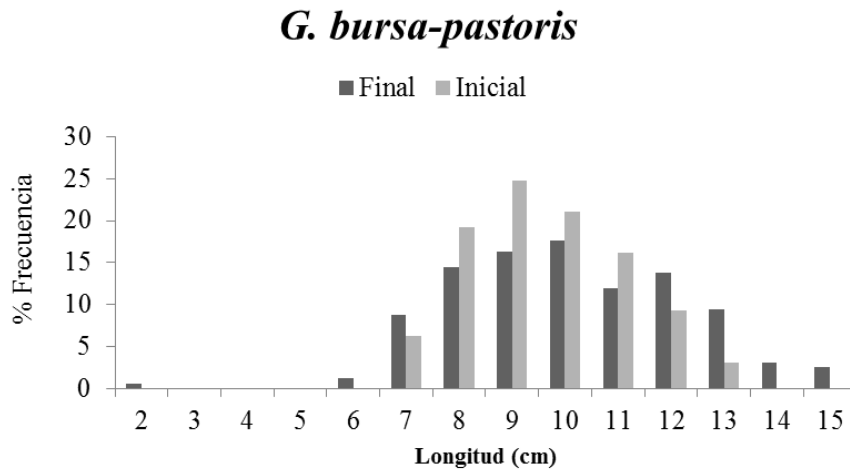


Figura 11. Distribución de la frecuencia de longitudes finales e iniciales de *G.bursa-pastoris*.

3.2.3. *Chondracanthus teedei*.

Los resultados del ANOVA (Tabla 5) mostraron que el crecimiento de *C. teedei* no pareció verse afectado de manera significativa por la estacionalidad, la duración del cultivo o por la interacción de estos factores (Fig. 12). Asimismo, la cantidad de epífitos en las cuerdas mostró que existían diferencias significativas según la estación del año, hecho que no fue observado ni para *G. longissima* ni para *G. bursa-pastoris*.

Tabla 5. Resultados del ANOVA bifactorial para evaluar la influencia de la estacionalidad (Es) y la duración del cultivo (DC) en el crecimiento y cantidad de epífitos para la especie *C. teedei* df - Grados de libertad, SS - Suma de cuadrados. *p-valor < 0,05, ** p-valor < 0,01, ***p-valor < 0,001

<i>C. teedei</i>						
%DGR				Epífitos		
Factor	df	SS	F-valor	df	SS	F-valor
DC	2	0,7619	0,3356	2	136,9	1,1284
Es	1	0,6574	0,5791	2	672,4	5,5430**
DC:Es	2	2,7235	1,1995	4	203,4	0,8382
Residual	12	13,6234		55	3336,2	

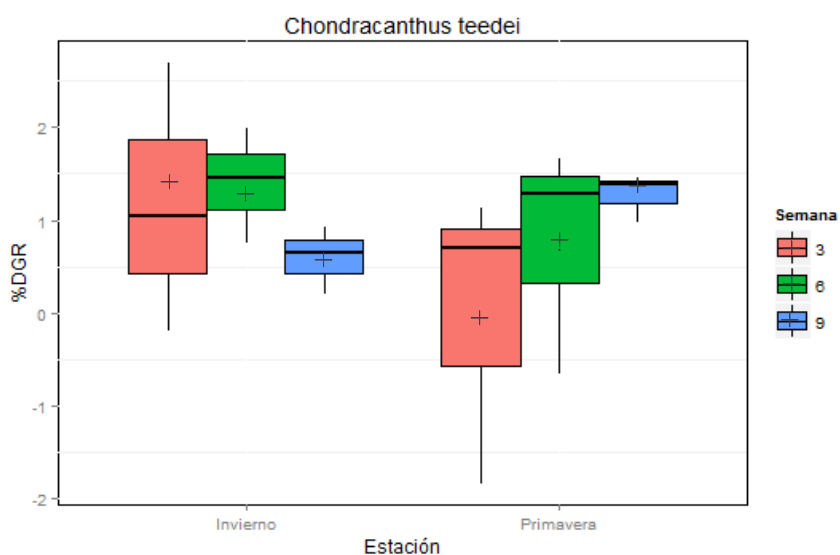


Figura 12. Diagrama de cajas que relaciona la estacionalidad y duración del periodo de cultivo de *C. teedei*. El diagrama de cajas indica la mediana (línea cercana al centro), el primer y tercer cuartil (la caja), los valores extremos de la caja que vienen determinados por 1,5 veces el rango intercuartílico y la media (cruz).

La especie *C. teedei* mostró una alta supervivencia durante el cultivo para las estaciones de invierno y primavera. Sin embargo, se observó una drástica mortandad a partir de la semana 3 del cultivo durante el verano (Fig. 13), coincidiendo con una importante ola de calor, durante la cual la temperatura del agua en la bahía llegó a superar los 30°C.

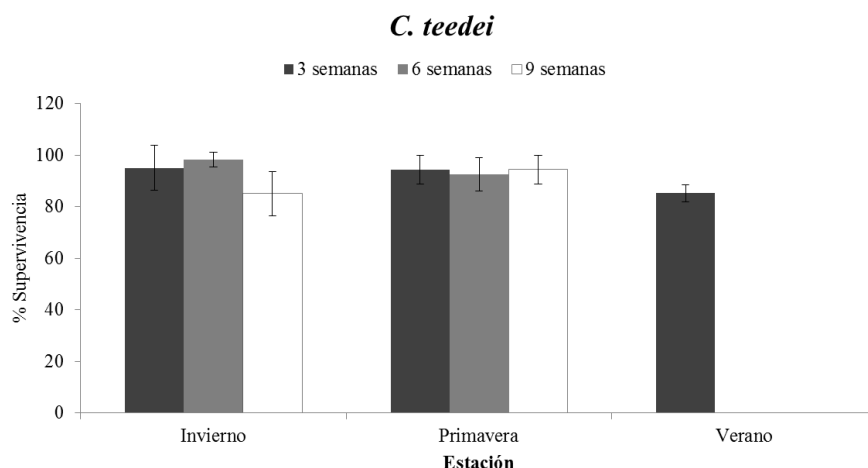


Figura 13. Supervivencia de la especie *C. teedei* por estaciones y duración de cultivo.

La distribución de frecuencias (Fig. 14) muestra que al final del cultivo la mayoría de los individuos de *C. teedei* presentaron una longitud de 11 cm, mientras que al inicio el mayor porcentaje estuvo comprendido entre los 8 y los 10 cm de longitud. Cabe destacar la presencia de un porcentaje considerable de individuos con tallas menores a las iniciales debido a la muerte o fractura de éstos.

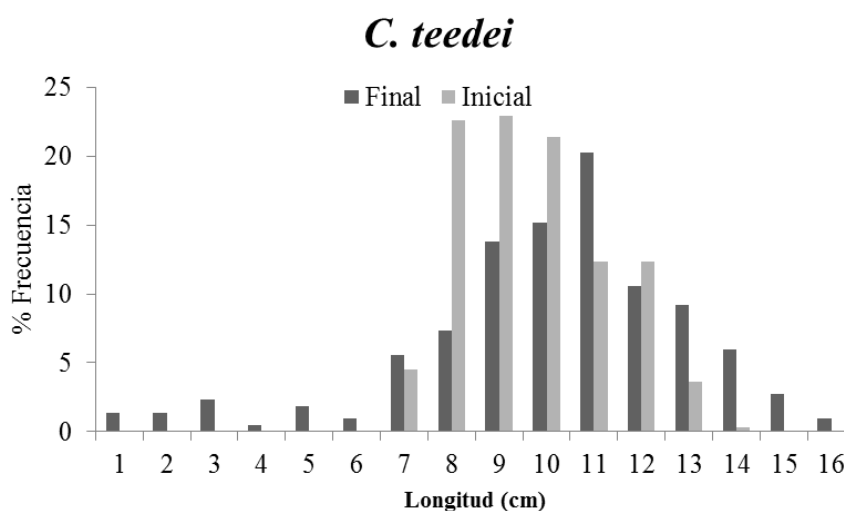


Figura 14. Distribución de la frecuencia de longitudes finales e iniciales de *C. teedei*.

3.3. Análisis de carbono y nitrógeno interno

Los resultados del análisis de nitrógeno y carbono interno, realizados para la estación de invierno de las diferentes especies (Tabla 6), mostraron que en *C. teedei* el contenido interno de N aumentó a medida que se incrementó la duración del periodo de cultivo. Sin embargo en las especies *G. longissima* y *G. bursa-pastoris* el contenido interno de N disminuyó a lo largo del

periodo de cultivo (invierno). El índice C:N en todas las especies presentó un aumento excepto para la especie *C. teedei*.

Los resultados del test ANOVA mostraron que la duración del tiempo de cultivo influyó significativamente en la concentración de nitrógeno interno para todas las especies. El contenido interno de nitrógeno en *G. longissima* al final del periodo de cultivo fue superior al 2%. En el caso de *C. teedei* este contenido interno de nitrógeno se situó en torno al 1%.

Tabla 6. Concentraciones iniciales y finales de nitrógeno y carbono interno. Resultados del test ANOVA relacionando la duración del tiempo de cultivo (Dc) con la concentración de nitrógeno en los tejidos. df - Grados de libertad, SS - Suma de cuadrados. *p-valor < 0,05, ** p-valor < 0,01, ***p-valor < 0,001

	% C interno		%N interno		C:N		Factor	df	SS	F-valor
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final				
<i>G. longissima</i>	26,39	27,95	3,11	2,01	11,53	15,1	Dc	2	2,3414	76,52***
							Residual	6	0,0918	
<i>G. bursa-pastoris</i>	28,60	29,33	3,25	2,15	12,1	14,93	Dc	2	1,4615	11,16*
							Residual	5	0,3275	
<i>C. teedei</i>	24,14	23,22	1,61	2,01	22,07	16,51	Dc	2	0,9203	7,401**
							Residual	25	1,5544	

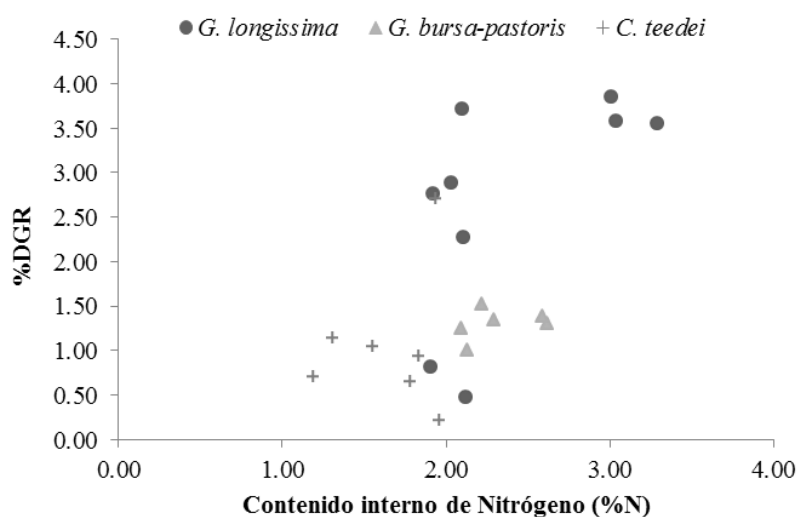


Figura 10. Contenido de N interno en relación al crecimiento diario de *G. longissima*, *G. bursa-pastoris* y *C. teedei*.

La figura 10 muestra la relación entre la tasa de crecimiento diario con respecto a la cantidad de N interno que posee el alga. Se observa como para las tres especies el aumento del contenido

interno de N tisular produce un aumento de la tasa de crecimiento, en especial para la especie *G. longissima* donde la relación con el crecimiento es mucho mayor.

Los valores de tabla 7 muestran la tasa de biodepuración de nitrógeno en la bahía estimada teniendo en cuenta los valores iniciales y finales del contenido interno de nitrógeno, el tiempo de cultivo y la longitud de la cuerda. Tanto en *G. longissima* como en *C. teedei* se obtuvieron valores positivos, lo que indica que ambas especies retiran de forma neta nitrógeno del medio. Cabe destacar que la tasa de biodepuración para este elemento por *G. longissima* fue un orden de magnitud mayor que la de *C. teedei*.

Tabla 7. Tasa de biodepuración de nitrógeno en *G. longissima* y *C. teedei*.

	Biodepuración potencial ($\mu\text{g N/día}\cdot\text{cm}$)
<i>Gracilariopsis longissima</i>	6,84
<i>Chondracanthus teedei</i>	0,42

4. DISCUSIÓN

Las condiciones ambientales a las cuales estuvieron sometidos los cultivos de las tres especies fueron muy variables, y en términos generales las diferentes variables consideradas siguieron un patrón estacional. No obstante, de las tres especies estudiadas tan sólo en el caso de *G. bursa-pastoris* el porcentaje de crecimiento diario pareció seguir un patrón estacional. En el caso de *G. longissima*, el crecimiento vino fundamentalmente determinado por la duración del cultivo, existiendo una relación inversa entre la duración y el crecimiento. Esta relación inversa parece deberse a la rotura de los individuos. En *C. teedei*, el crecimiento no se vio influenciado ni por la duración del cultivo ni por la estacionalidad. De las tres especies de algas rojas, *G. bursa-pastoris* es la única que crece de forma natural en el saco interno de la bahía, donde es frecuente encontrarla de manera abundante. Las otras dos aparecen en hábitats más localizados como compuertas de esteros y lugares sombríos con fuertes corrientes.

De los datos de crecimiento se obtuvo que la especie *G. longissima* mostró los valores más altos durante el otoño con un crecimiento medio del 4% diario y un máximo de 6,6%. No obstante, estudios anteriores de Pérez-Pastor (2005) en la bahía de Cádiz y Anderson *et al.* (1996) en Sudáfrica, observaron los máximos crecimientos durante la primavera y el principio del verano. Además, las tasas de crecimiento obtenidas por ambos autores fueron sensiblemente

mayores a las obtenidas en este estudio. Así, Pérez-Pastor (2005) cultivando esta especie en estanques de granjas marinas, estimó tasas de crecimiento diario cercanas al 9%. En el caso del estudio desarrollado por Anderson *et al.* (1996), cultivando esta especie en un sistema de balsas a una profundidad constante de 20 cm, llegó a alcanzar tasas del 10% diario. Por tanto, los valores de crecimiento obtenidos en este estudio son relativamente bajos en comparación con estos estudios (Tabla 8).

Tabla 8. Estudios de crecimiento previos realizados para la especie *G. longissima*.

%DGR máx.	Periodo	Duración del cultivo	Referencia
8,8%	Primavera	3 meses	Pérez-Pastor (2005)
10%	Verano	3 meses	Anderson <i>et al.</i> (1996a)

Las tasas de crecimiento estimadas en *G. bursa-pastoris* son algo inferiores a las obtenidas por Marinho-Soriano (2012) en un cultivo de jaulas en el étang de Thau (Francia). No obstante, en ambos estudios los valores de crecimiento máximo fueron observados durante el otoño y la primavera, con tasas cercanas al 5% diario en el caso de Marinho-Soriano (2012) y del 4% en este estudio. Estudios recientes de Korzen *et al.* (2015, en prensa) muestran resultados que difieren en gran medida de los de la bahía de Cádiz, donde cultivos de *Gracilaria bursa-pastoris* situados en altamar bajo jaulas de acuicultura, produjeron valores de crecimiento diario de un 10%, viéndose éstos aumentados por el aporte de nutrientes de deshecho proveniente de las jaulas de peces (Tabla 9).

Tabla 9. Estudios de crecimiento previos realizados para la especie *Gracilaria bursa-pastoris*.

%DGR máx.	Periodo	Duración del cultivo	Referencia
4,95%	Otoño	3 meses	Marinho-Soriano (2012)
10%	Verano	3 meses	Korzen <i>et al.</i> (2015, en prensa)

Las tasas de crecimiento obtenidas para *C.teedei* variaron entre el 0 y el 2% diario. Un estudio similar, sin cambios en la profundidad del cultivo, fue llevado a cabo al mismo tiempo en la salina de la Esperanza, obteniendo resultados máximos de 2,6% en primavera (Macías, M., 2015. Inédito). Estas tasas son inferiores a las observadas por Bulboa *et al.* en 2005 para *Chondracanthus chamissoi*, donde los valores de crecimiento obtenidos para el cultivo en profundidad oscilaron entre el 2 y el 5% diario. No obstante, los valores obtenidos en este caso

son comparables a los obtenidos por Romo *et al.* (2006) para *Gigartina skottsbergii* en Chile utilizando un sistema de cultivo en balsas (Tabla 10).

Tabla 10. Estudios de crecimiento previos realizados para la especie *C.teedei*.

%DGR máx.	Periodo	Duración del cultivo	Referencia
5%	Primavera	3 meses	Bulboa <i>et al.</i> (2005)
2,5%	Verano	3 meses	Romo <i>et al.</i> (2006)
2,39%	Primavera	2 meses	Macías-Andrade, M. (2015)

Las condiciones físicas de la bahía y su régimen mareal con tan amplio coeficiente de marea, sugieren que la influencia de los parámetros medioambientales sobre el crecimiento del cultivo de macroalgas es muy significativa (Tabla 2). En la zona de estudio, la amplitud diaria de la marea es aproximadamente de 1,5 m. Asimismo, cada 15 días las mareas vivas dejan el cultivo casi al descubierto y dos veces al año, durante los equinoccios, quedan expuestas al completo, propiciando la desecación parcial de los individuos del cultivo. Además, los periodos de temporales y el oleaje contribuyen tanto a la rotura física de los individuos. En este aspecto, es la especie de complejidad más débil (*G. longissima*) la que se ve más afectada por estos acontecimientos. En el caso de *C. teedei* (Fig.14), se observó más pérdida por muerte que por rotura física en la misma estación. La especie más resistente en el cultivo debido a su crecimiento más arbustivo fue *G. bursa-pastoris* (Fig. 11). Los factores ambientales por tanto, afectan de manera diferente a cada una de las especies.

En *G. longissima* se produjo una disminución del crecimiento durante el verano, llegándose incluso a la desaparición completa de los talos del cultivo. Ello puede ser debido en parte al fuerte incremento de la temperatura, tal como sugieren las tasas de crecimiento medidas por Pérez-Lloréns *et al.* (2004). Se observó para todas las especies una cierta disminución de la longitud final de algunos talos (Fig. 7, 10 y 13). Ello no necesariamente indica la mortalidad de la biomasa sino que otros factores como puede ser la fractura de los fragmentos por el efecto de los temporales ha podido provocar pérdidas de la producción neta. Esto se pudo corroborar por la existencia de fragmentos viables de las especies bajo las balsas de cultivo, hecho observado en otros estudios similares (Dawes, 1995).

El método de cultivo utilizado mediante cuerdas a cierta distancia del fondo (Fig. 5), favoreció el crecimiento de las especies cultivadas, ya que consiguió limitar el posible crecimiento de especies como *Ulva* sobre los individuos cultivados y reducir el sombreado del

cultivo por el dosel de macrofitos que tapiza el fondo de la bahía (Pérez-Pastor, 2005). Aunque los organismos epífitos no fueron identificados y separados según especie o grupo funcional, sí que se observó un cambio en la composición de estos a lo largo del año. En este sentido, durante la temporada de primavera fueron *Ulva rotundata* y *U. intestinalis* las especies que mayoritariamente conformaban este grupo de organismos epífitos. Estas ulváceas eran arrastradas por la marea en grandes cantidades, quedándose enganchadas en las cuerdas. Si bien sombreaban el cultivo, lo que podría tener efectos negativos sobre su desarrollo, estas especies eran fácilmente retiradas de las cuerdas durante la recolección. A finales de primavera y verano cuando la temperatura del agua ya era alta, se observó que la presencia de *Ulva* sobre las cuerdas, parecía proteger a las especies cultivadas de la radiación directa del sol, impidiendo tanto la fotoinhibición como el incremento excesivo de la temperatura o la desecación (Pérez-Pastor, 2005). Durante el verano fueron las colonias de *Ascidia mentula* y *Esponja cornea* las que conformaban la mayor parte de los organismos epífitos. Por otra parte, en los meses de invierno fueron fanerógamas arrojadas las que mayoritariamente se quedaron enganchadas.

En cuanto al requerimiento celular, para un cultivo óptimo de un alga determinada, se requiere de una amplia variedad de macronutrientes, micronutrientes y vitaminas. La relación C:N: media en las macroalgas es de 18,3 (Lobban y Harrison, 1997) o de 16,3 (Duarte, 1992). Para el caso del C orgánico interno las concentraciones, al depender de la actividad fotosintética (luz), son bastante conservativas. Ocurre lo contrario con el N y P que suelen considerarse como elementos limitantes del crecimiento. La disponibilidad de éstos no sólo viene determinada por la concentración en el medio sino por su tasa de incorporación. Las macroalgas en general, tienen la capacidad de almacenar los nutrientes por encima de su cuota crítica en situaciones de altas concentraciones externas, para utilizarlos posteriormente en periodos limitantes (Pérez-Pastor, 2005).

En cuanto al índice C:N, Anderson *et al.* (1999) publicaron un valor de 10 para *Gracilaria* sp. crecida en ambientes eutróficos y entre 15 y 20 en periodos de baja disponibilidad de nutrientes. Pérez-Lloréns en 2004, estimó que los índices de C:N para *G. longissima* estaban entre 6,5 y 9 en una marisma cercana. En *Chondracanthus* sp. la ratio C:N se ha estimado en 12,6 (Foster *et al.*, 2014). Teniendo en cuenta los valores medios de C:N de Duarte (1992), los índices obtenidos en este estudio estarían dentro del valor medio propuesto para las macroalgas. Índices por debajo del valor medio reflejarían un estado saludable del alga, con una mayor tasa de crecimiento o con un valor alto de proteínas en relación a la cantidad de N interno y valores superiores, denotarían una situación de limitación del crecimiento por este nutriente.

Los análisis del contenido interno de nitrógeno (Tabla 6) mostraron además que *C. teedei*, con la menor tasa de crecimiento diario de las tres especies, podría invertir una menor cantidad de N para el crecimiento, pero aumentar su contenido en la reserva interna. Por el contrario, *G. longissima* y *G. bursa-pastoris*, disminuyeron su contenido interno de N durante el periodo de cultivo, lo que sugiere una dilución en biomasa del elemento durante el crecimiento del macrófita. Para todas las especies, el contenido interno de N (Fig. 10) estuvo por encima de la cuota crítica para este elemento (Q_c): 2% para *G. longissima* (Hanisak, 1983) y *G. bursa-pastoris* (Hernández *et al.*, 2002) y 1% para *C. teedei* (Niell y Mouriño, 1981), lo que sugiere que las algas durante el invierno estuvieron creciendo a las máximas tasas.

En resumen, de los resultados de las tres especies de algas cultivadas, se deduce que éstas no tendrían el crecimiento limitado por nitrógeno, ya que tanto el índice C:N como el contenido interno, se encuentran dentro de los valores establecidos por la bibliografía. Los valores de P interno de las muestras a día de hoy, están pendientes de analizar.

Estudios previos han utilizado la capacidad depurativa de las macroalgas para reducir la concentración de nutrientes en vertidos originados por una planta de acuicultura (Martínez-Aragón *et al.*, 2002; Pérez-Pastor, 2005; Hernández *et al.*, 2006). Los valores de la tabla 7 sugieren que ambas especies podrían ser utilizadas para la biodepuración de nitrógeno inorgánico del medio, siendo *G. longissima* más eficaz que *C. teedei*. Sin embargo, las tasas de biodepuración de nitrógeno observadas para *G. longissima* fueron entre 8 y 25 veces menores que las obtenidas por Hernández *et al.* (2006). Este hecho, puede ser debido a la abundante pérdida de biomasa que se produjo durante el cultivo. La capacidad biodepurativa de *C. teedei* atendiendo a esta comparativa sería un orden de magnitud menor, lo que sugiere una baja capacidad. En un ambiente con riesgo de eutrofización como la bahía de Cádiz, receptor de vertidos acuícolas con elevada carga de nutrientes, el desarrollo de estos cultivos podría mitigar el efecto negativo de la contaminación en el medio.

De esta manera, con vistas a futuros cultivos sostenibles a mayor escala, los estudios complementarios de laboratorio podrían introducir mejoras en las estrategias de cultivo, realizando controles *in situ* de las variables ambientales más importantes que afectan al crecimiento, de manera que se puedan proponer o procurar las mejores condiciones para el crecimiento y estado de la biomasa en los cultivos.

5. CONCLUSIONES

1. Los resultados de este estudio sugieren que el método de cultivo de macroalgas mediante sistema de cuerdas en la bahía de Cádiz es viable gracias a las condiciones hidrodinámicas, físicas y químicas de la bahía.
2. La estación del año para la cual se obtuvieron las mayores tasas de crecimiento diario fue el otoño, con máximos obtenidos del 6,6% y del 3,7%, para *Gracilariopsis longissima* y *Gracilaria bursa-pastoris* respectivamente. Sin embargo, fue durante el invierno cuando se produjo la tasa máxima (2,7%) para *Chondracanthus teedei*.
3. Los valores de nitrógeno analizados sugieren que el aporte de nitrógeno inorgánico disuelto que las algas recibieron durante la estación de invierno fue suficiente para sustentar su crecimiento, ya que los resultados muestran que en todas ellas, el contenido interno de nitrógeno estuvo por encima de la cuota crítica para este elemento.
4. El cultivo de macroalgas en la bahía podría contribuir a un aumento de la economía a nivel local, complementando otras actividades económicas como la pesca tradicional y el marisqueo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera-Morales, M., Casas-Valdez, M., Carrillo-Domínguez, S., González-Acosta, B., Pérez-Gil, F., 2005. *Chemical composition and microbiological assays of marine algae Enteromorpha spp. as a potential food source*. Journal of Food Composition and Analysis 18: 79-88.
2. Anderson, R. J., Levitt, G. J., Share, A., 1996. *Experimental investigations for the mariculture of Gracilaria in Saldanha Bay, South Africa*. Journal of Applied Phycology 8: 421-430.
3. Anderson, R. J., Smit, A. J., Levitt, G. J., 1999. *Upwelling and fish-factory waste as nitrogen sources for suspended cultivation of Gracilaria gracilis in Saldanha Bay, South Africa*. Hydrobiologia, 398-399: 455-462.
4. Bastos, E., 2013. *Bases Biológicas para a domesticação de uma alga vermelha nativa de valor econômico: Chondracanthus teedei*. Tesis doctoral. Florianópolis, 2013.
5. Bulboa, C. R., Macchiavello, J. E., Oliveira, E. C., Fonck, E., 2005. *First attempt to cultivate the carrageenan-producing seaweed Chondracanthus chamissoi (C. Agardh) Kützinger (Rhodophyta; Gigartinales) in Northern Chile*. Aquaculture Research 36: 1069-1074.
6. Cabioch, J., Floch, J. Y., Le Toquin, A., Boudouresque, C. F., Meinesz, A., Verlaque, M., 2006. *Guía de algas del Atlántico y del Mediterráneo*. Ed. Omega
7. Chapman, V. J., Chapman, D. J., 1980. *Seaweeds and Their Uses*. Chapman and Hall, London.
8. Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015. *Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural Bahía de Cádiz* (aprobado por decreto 79/2004, 24 de febrero).
9. Dawes, C. P., 1995. *Suspended cultivation of Gracilaria in the sea*. Journal of Applied Phycology 7: 303-313.
10. Duarte, C.M., 1992. *Nutrient concentration of aquatic plants: Patterns across species*. Limnology Oceanography 37: 87-112.
11. Foster, M. C., Byrnes, J. E. K., Reed, D. C., 2014. *Effects of five southern California macroalgal diets on consumption, growth and gonad weight in the purple sea urchin Strongylocentrotus purpuratus*. PeerJ 3:e719; DOI 10.7717/peerj.719
12. Guiry, M. D., Guiry, G. M., 2015. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. (<http://www.algaebase.org>)

13. Hanisak, M.D., 1983. *The nitrogen relationships of marine macroalgae*. En Carpenter E.J. y Capone D.G. [Eds.] *Nitrogen in the Marine Environment*, Academic Press, New York, pp 699-730.
14. Hanisak, M.D., 1998. *Seaweed cultivation global trends*. World Aquaculture 29, 18–21.
15. Hernández, I., Martínez-Aragón, J. F., Tovar, A., Pérez-Loréns, J. L., Vergara, J. J., 2002. *Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (Dicentrarchus labrax) waste waters 2. Ammonium*. Journal of Applied Phycology 14: 375–384.
16. Hernández, I., Fernández-Engo, M. A., Pérez-Lloréns, J. L., Vergara, J. J., 2005. *Integrated outdoor culture of two estuarine macroalgae as biofilters for dissolved nutrients from Sparus aurata waste waters*. Journal of Applied Phycology 17: 557–567.
17. Hernández, I., Pérez-Pastor, A., Vergara, J. J., Martínez-Aragón, J. F., Fernández-Engo, M. A., Pérez-Lloréns, J. L., 2006. *Studies on the biofiltration capacity of Gracilariopsis longissima: From microscale to macroscale*. Aquaculture 252: 43–53.
18. Hernández, I., Bermejo, R., Pérez-Lloréns, J. L., Vergara, J. J., 2010. *Contribución al conocimiento de los macrófitos marinos del saco interno y caños adyacentes de la bahía de Cádiz*. Boletín de la Sociedad Española de Ficología 43: 11-16.
19. Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, 1990. *Estadística de síntesis*. URL:<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/htm/sm11031.htm> [F. consulta: 19/04/2015].
20. Israel, A., Einav, R., Seckbach, J., 2010. *Seaweeds and their Role in Globally Changing Environments*. Vasa, 15:480.
21. Iyer, R., Clerck, O. D., Bolton, J. J., Coyne V. E., 2005. *Morphological and taxonomic studies of Gracilaria and Gracilariopsis species (Gracilariales, Rhodophyta) from South Africa*. South African Journal of Botany 2004, 70: 521–539.
22. Korzen, L., Abelson, A., Israel, A., 2015. *Growth, protein and carbohydrate contents in Ulva rigida and Gracilaria bursa-pastoris integrated with an offshore fish farm*. Journal of Applied Phycology. [En prensa]
23. Lobban, C.S., Harrison, P.J., 1997. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press. 367 pp.
24. Mantri, V. A., Thakur, M. C., Kumar, M., Reddy, C. R. K., Jha, B., 2009. *The carpospore culture of industrially important red alga Gracilaria dura (Gracilariales, Rhodophyta)*. Aquaculture 297: 85–90.

25. Marinho-Soriano, E., Bourret, E., de Casabianca, M. L., Maury, L., 1999. *Agar from the reproductive and vegetative stages of Gracilaria bursa-pastoris*. Bioresource Technology 67: 1-5.
26. Marinho-Soriano, E., 2012. *Effect of depth on growth and pigment contents of the macroalgae Gracilaria bursa-pastoris*. Revista Brasileira de Farmacognosia. 22: 730-735.
27. Menéndez-Valderrey, J. L., 2004. *Chondracanthus teedei (Mertens ex Roth) Kützinger*. URL:<http://www.asturnatura.com>. Num. 6. [F. consulta: 24/09/2015]
28. Mouritsen, O. G., Dawczynski, C., Duelund, L., Jahreis, G., Vetter, W., Schröder, M., 2013. *On the human consumption of the red seaweed dulse (Palmaria palmata (L.) Weber & Mohr)*. Journal of Applied Phycology 25: 1777–1791.
29. Niell, F.X., Mouriño, C., 1981. *Contenido en carbono y nitrógeno en macrofitos intermareales*. Investigaciones Pesqueras 45: 187-210.
30. Oliveira, E. C., Aiveal, K., Anderson, J. R., 2000. *Mariculture of the agar-producing Gracilarioid red algae*. Reviews in Fisheries Science 8: 345–377.
31. Peralta, G., Van Duren, L. A., Morris, E. P., Bouma, T.J., 2008. *Consequences of shoot density and stiffness for ecosystem engineering by benthic macrophytes in flow dominated areas: A hydrodynamic flume study*. Marine Ecology, 368: 103-115.
32. Pérez-Lloréns, J. L., Brun, F. G., Andría, J., Vergara, J. J., 2004. *Seasonal and tidal variability of environmental carbon related physico-chemical variables and inorganic C acquisition in Gracilariopsis longissima and Enteromorpha intestinalis from Los Toruños salt marsh (Cádiz Bay, Spain)*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 304: 183–201.
33. Pérez-Pastor, A., 2005. *Utilización de macroalgas marinas para la disminución de la contaminación por nutrientes*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.
34. Radmer, R. J., 1996. *Algal Diversity and Commercial Algal Products*. BioScience, 46: 263-270.
35. Romo, H., Ávila, M., Núñez, M., Pérez, R., Candia, A., Aroca, G., 2006. *Culture of Gigartina skottsbergii (Rhodophyta) in southern Chile. A pilot scale approach*. Journal of Applied Phycology 18: 307-314.
36. Stabili, L., Acquaviva, M. I., Biandolino, F., Cavallo, R. A., De Pascali, S. A., Fanizzi, F. P., Narracci, M., Petrocelli, A., Cecere, E., 2012. *The lipidic extract of the seaweed Gracilariopsis longissima (Rhodophyta, Gracilariales): a potential resource for biotechnological purposes?*. New Biotechnology. Volume 29, Number 3.

37. Steentoft, M., Irvine, L. M., Farnham, W. F., 1995. *Two terete species of Gracilaria and Gracilariopsis (Gracilariales, Rhodophyta) in Britain*. Phycologia 34: 113-127.
38. Vergara, J. J., García-Sánchez, M. P., Olivé, I., García-Marín, P., Brun, F. G., Pérez-Lloréns, J. L., y Hernández, I., 2012: *Seasonal functioning and dynamics of Caulerpa prolifera meadows in shallow areas: An integrated approach in Cadiz Bay Natural Park*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 112: 255–264.
39. Voerman, S. E., Llera, E., Rico, J. M., 2013. *Climate driven changes in subtidal kelp forest communities in NW Spain*. Marine Environmental Research 90: 119-127.
40. Whyte, J. N. C., Englar, J. R., Saunders, R. G., Lindsay, J. C., 1981. *Seasonal variations in the biomass, quantity and quality of agar, from the reproductive and vegetative stages of Gracilaria (verrucosa type)*. Botanica Marina 24: 493-501.
41. Zemke-White, W. L., Ohno, M., 1999. *World seaweed utilization: An end-of-century summary*. Journal of Applied Phycology 11: 369–376.

ANEXO

Tabla Suplementaria 1. P-valores del test ANOVA de los datos de parámetros medioambientales en las diferentes estaciones del año. Temperatura (°C), Salinidad (PSU), Oxígeno disuelto (g/l), Sólidos en suspensión (mg/l), Precipitación acumulada (mm), Altura de ola máxima (m), Velocidad del viento (km/h). Ss –Estación del año.*p-valor < 0.05, ** p-valor < 0.01, ***p-valor < 0.001

	Factor	df	SS	F-valor
Temperatura	T:Ss	3	759.4	23.76***
	Residual	44	468.8	
pH	pH:Ss	3	1.055	4.742**
	Residual	44	3.261	
Salinidad	Sal.:Ss	3	54.69	3.668*
	Residual	44	218.68	
Oxígeno disuelto	O.D.:Ss	3	4.56	0.635
	Residual	37	88.56	
Sólidos suspensión	Sol:Ss	3	0.00842	0.794
	Residual	40	0.14148	
Precipitación acumulada	PA:Ss	3	18686	1.525*
	Residual	8	32669	
Altura de ola máxima	Hs:Ss	3	5.749	0.0144*
	Residual	8	2.300	
Velocidad del viento	Viento:Ss	3	1422.7	6.622*
	Residual	8	572.9	